

**CORPORACIÓN UNIVERSIDAD DE LA COSTA - CUC**  
**GRUPO DE INVESTIGACION EN OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA (GIOPEN)**  
**PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**INFORME TECNICO EVALUACIÓN ENERGÉTICA DE OPERACIÓN CONTROLADA DE  
LA PLANTA EN UNA INDUSTRIA DEL SECTOR QUÍMICO.**

**Elaborado por:**  
**GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA - GIOPEN**

**BARRANQUILLA**  
**JULIO-2015**

## Índice

|   |    |
|---|----|
| 1. Resumen .....  | 2  |
| 2. Objetivos de la etapa desarrollada.....  | 2  |
| 3. Cronograma de ejecución del proyecto y actividades realizadas en esta etapa..... | 2  |
| 4. Resultados principales.....  | 3  |
| 4.1. Línea base energética mensual e indicador de desempeño energético (IDEn).....  | 5  |
| 4.2. Aplicaciones del modelo mensual.....   | 10 |
| 4.3. Línea base energética diaria e indicador de desempeño energético (IDEn).....   | 14 |
| 4.4. Aplicaciones del modelo diario.....  | 15 |
| 4.5. Análisis de la aplicación de las baterías equivalentes producidas .....        | 17 |
| 5. Análisis del consumo del área administrativa.....                                | 19 |
| 5.1. Resultados de las mediciones.....  | 20 |
| 6. Evaluación del factor de potencia.....   | 22 |

## Resumen

Partiendo de la línea base obtenida en el informe anterior se propone la línea meta a alcanzar, estimando un potencial de ahorro 14 712 kWh, lo que equivale a dejar de pagar aproximadamente \$ 2 060 000 pesos colombianos. Se propone un índice de desempeño energético para el seguimiento y control del uso de la energía y colocar filtros en puntos de la empresa para aumentar el factor de potencia motivo por el cual la empresa está siendo penalizada con más de 5 millones de pesos al mes.

### 1. Objetivos de la etapa desarrollada.

Tabla 1. Objetivos de la etapa desarrollada.

| Etapa  | Actividades   |
|--|---|
| Evaluación energética de operación controlada de la planta | <b>REALIZACION TRABAJO DE CAMPO</b><br>Evaluación de la relación del consumo general y nivel de actividad con control de parámetros.<br>Segregación del consumo del área administrativa.<br>Perfiles de consumo horario y contraste con nivel de actividad horaria.<br><b>PROCESAMIENTO DE LOS RESULTADOS</b><br>Evaluación del factor de potencia.<br>Validación de línea base energética.<br>Validación de la línea meta de eficiencia energética.<br>Validación de la línea de deterioro.<br>Estimación del potencial de ahorro. |

### 2. Cronograma de ejecución del proyecto y actividades realizadas en esta etapa.

Tabla 2. Cronograma de ejecución del proyecto.

| Etapa  | Semanas Ejecución |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|--|-------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|  | 1                 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 |
| Análisis de información preliminar                         | X                 | X |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| Evaluación energética de operación controlada de la planta |                   |   | X | X | X | X | X | X | X | X  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| Identificación de áreas críticas                           |                   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| Evaluación de las áreas críticas                           |                   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| Elaboración del informe final                              |                   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |

Tabla 3. Actividades realizadas en esta etapa.

| Actividades   |
|---|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Reunión de coordinación sobre las actividades para la puesta en marcha de la operación controlada de la planta.</li> <li>2. Se identifican junto el jefe de mantenimiento las áreas principales consumidoras de energía y se propone un plan de mediciones.</li> </ol>  |
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Se comienza la medición en los dos transformadores de la subestación 2 que alimentan a las mesas de carga.</li> <li>2. Se puntualiza sobre los datos que se registran en las mesas de carga.</li> </ol>   |
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Se realiza un chequeo de las mediciones.</li> </ol>   |
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Se descarga la información de los analizadores de redes y se programa la medición por otra semana en los mismos transformadores.</li> <li>2. Se recibe la información de producción y consumo de energía</li> </ol>   |
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Se finaliza las mediciones en las mesas de carga y se descarga la información correspondiente.</li> <li>2. Se comienza a medir el área administrativa y el área de compresores.</li> <li>3. Se recibe la información de producción y consumo de energía</li> <li>4. Se realiza un recorrido de planta para la identificación de oportunidades de ahorro.</li> </ol>         |
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Se finaliza las mediciones del área administrativa y se descarga la información correspondiente.</li> <li>2. Se chequean las mediciones en el área de compresores.</li> <li>3. Se realiza mediciones de la potencia instantánea de los motores de mayor consumo de la empresa.</li> <li>4. Se actualiza la información de la producción y el consumo de energía.</li> </ol> |
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Se finaliza las mediciones en el área de compresores y se descarga la información correspondiente.</li> <li>2. Se comienza a medir el motor del colector de polvo.</li> <li>3. Se actualiza la información de la producción y el consumo de energía.</li> </ol>   |
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Se finalizan las mediciones al motor del colector de polvo.</li> <li>2. Se actualiza la información de la producción y el consumo de energía.</li> </ol>  |
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Sesiones de trabajo para la integración del informe</li> </ol>  |

### 3. Resultados principales.

- Como resultado de esta etapa se obtuvo la línea de base energética de la empresa con un buen índice de correlación, la cual permite realizar la planificación del consumo de energía mensual y diaria.
- A partir de la línea base energética, se obtuvo la línea meta considerando solamente los puntos de operación ubicados por debajo de la línea base, o sea los de mayor eficiencia energética. Con esta línea meta, se pudo estimar el potencial de ahorro de energía sin realizar inversiones ni cambios de tecnología, a partir de la diferencia entre la energía no asociada a la producción (Enp) de la línea base y la (Enp) de la línea meta. El potencial de ahorro mensual es de 14 712 kWh, lo que equivale a dejar de pagar aproximadamente \$ 2 060 000 pesos colombianos por mes, mientras que el potencial de

ahorro de energía diario es de 986 kWh, lo que equivale a dejar de pagar aproximadamente \$ 138 040 pesos por día.

- Se obtuvo la línea de deterioro para estimar cuanto pudiera ser el sobreconsumo de energía en las condiciones actuales de operación. Para su determinación se realizó el proceso inverso de obtención de la línea meta, es decir, se interpolaron solamente los puntos que se encuentran por encima de la línea base, o sea, los de peor eficiencia energética y con la diferencia entre la (Enp) de la línea de deterioro y la línea base, se obtuvo el sobreconsumo potencial. Como resultado se pudo estimar que el sobre consumo mensual pudiera ser de 37 617 kWh/mes, lo que equivale aproximadamente a un incremento en los costos de facturación de 5 266 380 pesos colombianos al mes, mientras que el sobre consumo potencial diario pudiera ser de 695 kWh, equivaliendo a un pago adicional diario de \$ 97 300 pesos colombianos.
- Se propone un índice de desempeño energético para el seguimiento, monitoreo y control, diario y mensual, del uso de la energía en la empresa. Esta herramienta permite realizar acciones correctivas en el menor tiempo posible.
- Se desarrollaron hojas de cálculo incluidas en el archivo “HERRAMIENTAS”, que posibilita realizar la planificación del consumo de energía y el seguimiento y control de su uso, de manera simple y automatizada.
- El análisis del consumo de energía del área administrativa, demostró que no es necesario priorizar acciones para el ahorro de energía en dicha área, pues representa solamente un 1,56% del consumo de energía total de la empresa.
- En el estudio de la facturación del consumo de la energía eléctrica de la empresa, se observó un cobro por el consumo de energía reactiva de \$56 354 444 pesos colombianos en el periodo de diciembre de 2013 a mayo de 2015, de estos, se cobraron \$ 34 101 358 pesos colombianos en el año 2014. Esto se debe a que el factor de potencia se encuentra por debajo de 0,9 y la relación del consumo de energía reactiva en relación al consumo de energía activa supera el 50%. Por esta razón, se propone realizar un estudio integral de selección y ubicación de condensadores en el circuito de la empresa, para eliminar la penalización mensual que pagan por este concepto actualmente.

### **3.1. Línea base energética mensual e indicador de desempeño energético (IDEn).**

### 3.1.1. Línea base energética mensual.

En la figura 1 se muestra la línea de base energética mensual con la ecuación del ajuste lineal y el índice de correlación. Para la obtención de esta línea se emplearon los datos de consumo de energía eléctrica y producción en el período (2011-2014) mostrados en la tabla 4. Para este proceso se filtraron algunos datos empleando el método de los mínimos cuadrados, con el objetivo de eliminar aquellos que estuvieran fuera del patrón de la mayoría.

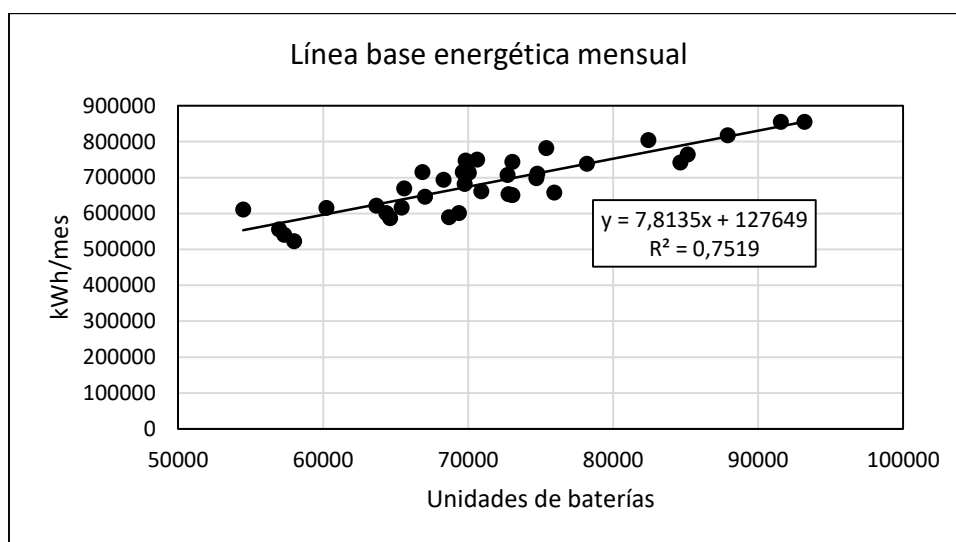


Figura 1. Línea base energética mensual.

Tabla 4. Datos de producción de baterías y consumo de energía mensual en el período (2011-2014).

| Mes    | Producción<br>(Baterías) | Consumo<br>(kWh/mes) |
|--------|--------------------------|----------------------|
| mar-11 | 64361                    | 601867,68            |
| abr-11 | 68676                    | 589822,32            |
| may-11 | 56972                    | 556325,65            |
| jun-11 | 58007                    | 523344,96            |
| jul-11 | 64629                    | 587175,36            |
| ago-11 | 65419                    | 616947,96            |
| sep-11 | 57321                    | 541404,44            |
| oct-11 | 71254                    | 681070               |
| nov-11 | 75938                    | 658452,12            |
| dic-11 | 67025                    | 647108,08            |
| ene-12 | 72781                    | 654273,24            |
| mar-12 | 69372                    | 601867,68            |
| abr-12 | 63668                    | 621912,72            |
| may-12 | 60230                    | 615596,64            |
| jun-12 | 79972                    | 679277,52            |
| jul-12 | 60088                    | 671159               |

|        |       |           |
|--------|-------|-----------|
| ago-12 | 74761 | 710800,68 |
| sep-12 | 70905 | 661887,96 |
| oct-12 | 63370 | 690446,28 |
| nov-12 | 73059 | 744329,16 |
| dic-12 | 54486 | 611573,88 |
| ene-13 | 65165 | 701241,36 |
| feb-13 | 69759 | 682715,64 |
| mar-13 | 64294 | 689803,82 |
| abr-13 | 67208 | 694230,36 |
| may-13 | 68306 | 694230,36 |
| jun-13 | 61171 | 667855,92 |
| jul-13 | 69623 | 715302,6  |
| ago-13 | 66854 | 715302,6  |
| sep-13 | 64114 | 674623,08 |
| oct-13 | 75387 | 782258,99 |
| nov-13 | 69832 | 747345,24 |
| dic-13 | 65584 | 669950,19 |
| ene-14 | 70042 | 713881,36 |
| feb-14 | 73057 | 651945,28 |
| mar-14 | 78190 | 738945,28 |
| abr-14 | 74706 | 698372,88 |
| may-14 | 72719 | 708082,1  |
| jun-14 | 70626 | 750235,44 |
| jul-14 | 84632 | 742446,48 |
| ago-14 | 85136 | 764600,88 |
| sep-14 | 82436 | 804711,72 |
| oct-14 | 91573 | 855143,28 |
| nov-14 | 93205 | 855143,28 |
| dic-14 | 87895 | 818602,80 |

El índice de correlación de 0,7519, superior a 0,7, demuestra que el ajuste de la línea base obtenida es bueno y permite presumir que será útil para la gestión del consumo de energía eléctrica en la empresa. Para validar totalmente esto, se evalúa estadísticamente si las estimaciones realizadas con el modelo, sirven para representar con un 90 % de confianza, los consumos de la empresa en función de las baterías producidas.

### *3.1.2 Validación estadística del modelo matemático de la línea base.*

El modelo matemático de la línea base es:

$$\text{Consumo eléctrico (kWh/mes)} = 7,8135 \cdot \text{Baterías producidas} + 127649 \quad (1)$$

Para su validación se evaluará estadísticamente con un nivel de confianza del 90% si el consumo eléctrico estimado para los años 2011, 2012 y 2013 sirve para representar el consumo eléctrico real registrados.

Los datos se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 5. Datos del consumo real y estimado por el modelo.

| <b>Mes</b> | <b>Consumo real</b> | <b>Consumo estimado por el modelo</b> |
|------------|---------------------|---------------------------------------|
| mar-11     | 601867,68           | 630533,67                             |
| abr-11     | 589822,32           | 664248,93                             |
| may-11     | 556325,65           | 572799,72                             |
| jun-11     | 523344,96           | 580886,69                             |
| jul-11     | 587175,36           | 632627,69                             |
| ago-11     | 616947,96           | 638800,36                             |
| sep-11     | 541404,44           | 575526,63                             |
| oct-11     | 681070              | 684392,13                             |
| nov-11     | 658452,12           | 720990,56                             |
| dic-11     | 647108,08           | 651348,84                             |
| ene-12     | 654273,24           | 696323,34                             |
| mar-12     | 601867,68           | 669687,12                             |
| abr-12     | 621912,72           | 625118,92                             |
| may-12     | 615596,64           | 598256,11                             |
| jun-12     | 679277,52           | 752510,22                             |
| jul-12     | 671159              | 597146,59                             |
| ago-12     | 710800,68           | 711794,07                             |
| sep-12     | 661887,96           | 681665,22                             |
| oct-12     | 690446,28           | 622790,5                              |
| nov-12     | 744329,16           | 698495,5                              |
| dic-12     | 611573,88           | 553375,36                             |
| ene-13     | 701241,36           | 636815,73                             |
| feb-13     | 682715,64           | 672710,95                             |
| mar-13     | 689803,82           | 630010,17                             |
| abr-13     | 694230,36           | 652778,71                             |
| may-13     | 694230,36           | 661357,93                             |
| jun-13     | 667855,92           | 605608,61                             |
| jul-13     | 715302,6            | 671648,31                             |
| ago-13     | 715302,6            | 650012,73                             |
| sep-13     | 674623,08           | 628603,74                             |
| oct-13     | 782258,99           | 716685,32                             |
| nov-13     | 747345,24           | 673281,33                             |



|        |           |           |
|--------|-----------|-----------|
| dic-13 | 669950,19 | 640089,58 |
| ene-14 | 713881,36 | 674922,17 |
| feb-14 | 651945,28 | 698479,87 |
| mar-14 | 738945,28 | 738586,57 |
| abr-14 | 698372,88 | 711364,33 |
| may-14 | 708082,1  | 695838,91 |
| jun-14 | 750235,44 | 679485,25 |
| jul-14 | 742446,48 | 788921,13 |
| ago-14 | 764600,88 | 792859,14 |
| sep-14 | 804711,72 | 771762,69 |
| oct-14 | 855143,28 | 843154,64 |
| nov-14 | 855143,28 | 855906,27 |
| dic-14 | 818602,80 | 814416,58 |

El análisis se realizó en el Software Statgraphics 3.0 aplicando los procedimientos para la comparación de dos muestras de datos.

El resumen del análisis se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 6. Análisis estadístico del modelo.

|                          | Consumo real | Consumo estimado por el modelo |
|--------------------------|--------------|--------------------------------|
| Recuento                 | 45           | 45                             |
| Promedio                 | 684525       | 676992                         |
| Desviación Estándar      | 75141,5      | 69927,2                        |
| Coeficiente de Variación | 10,9772%     | 10,3291%                       |
| Mínimo                   | 523345,      | 553375,                        |
| Máximo                   | 855143,      | 855906,                        |
| Rango                    | 331798,      | 302531,                        |
| Sesgo Estandarizado      | 0,491317     | 1,98189                        |
| Curtosis Estandarizada   | 0,239337     | 0,532326                       |

Tanto los valores de sesgo estandarizado como los de curtosis estandarizadas permiten afirmar que ambos grupos de datos tienen una distribución normal.

Los intervalos de confianza para la estimación de la media de las muestras son los siguientes:

- Intervalos de confianza del 90,0% para la media de Consumo real: 684525, +/- 18821,0 [665704,; 703346,]
- Intervalos de confianza del 90,0% para la media de Modelo: 676992, +/- 17515,0 [659477, 694506,]

Los resultados de la prueba t permite afirmar que el modelo sirve para la estimación de las medias del consumo real con un 90 % de confianza, los resultados de la prueba se muestran a continuación:

Prueba t para comparar medias

Hipótesis nula:  $\mu_1 = \mu_2$

Hipótesis Alt.:  $\mu_1 \neq \mu_2$

Suponiendo varianzas iguales:  $t = 0,492321$  valor-P = 0,623718

No se rechaza la hipótesis nula para  $\alpha = 0,1$ .

La prueba se ha realizado para determinar si la diferencia entre las dos medias es igual a 0,0 versus la hipótesis alterna de que la diferencia no es igual a 0,0. Puesto que el valor-P calculado es mayor que 0,1, no se puede rechazar la hipótesis nula y el modelo sirve para la estimación de la media del consumo real.

Para evaluar con un 90 % de confianza la aplicación del modelo para la estimación de la desviación estándar del consumo real se realiza la prueba de Fisher, la que se resume en la siguiente tabla.

Tabla 7. Resultados de la prueba Fisher.

|                     | Consumo real | Modelo    |
|---------------------|--------------|-----------|
| Desviación Estándar | 75141,5      | 69927,2   |
| Varianza            | 5,64624E9    | 4,88981E9 |

El intervalo de confianza para la estimación de la desviación estándar de la muestra con un 90 % de confianza es:

- Desviación Estándar de Consumo real: [64091,0; 91324,9]
- Desviación Estándar de Modelo: [59643,5; 84987,6]
- Razones de Varianzas: [0,699419; 1,90633]

Prueba-F para comparar Desviaciones Estándar

Hipótesis Nula:  $\sigma_1 = \sigma_2$

Hipótesis Alt.:  $\sigma_1 \neq \sigma_2$

$F = 1,1547$  valor-P = 0,635395

No se rechaza la hipótesis nula pues el valor P es mayor que 1 y el modelo es útil para explicar la desviación estándar del consumo real con un 90 % de confianza.

En las siguientes figuras se pueden apreciar la comparación entre los histogramas de ambas variables y los diagramas de cajas y bigotes correspondiente, que expresan gráficamente el comportamiento de ambas variables y permiten apreciar la similitud entre los datos obtenidos con el modelo y los datos reales.

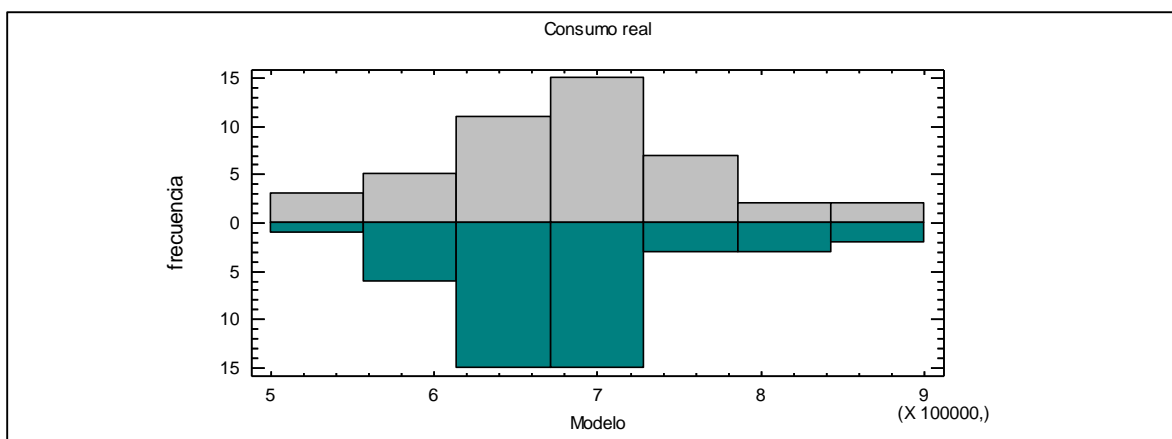


Figura 2. Histograma del consumo real y del modelo matemático.

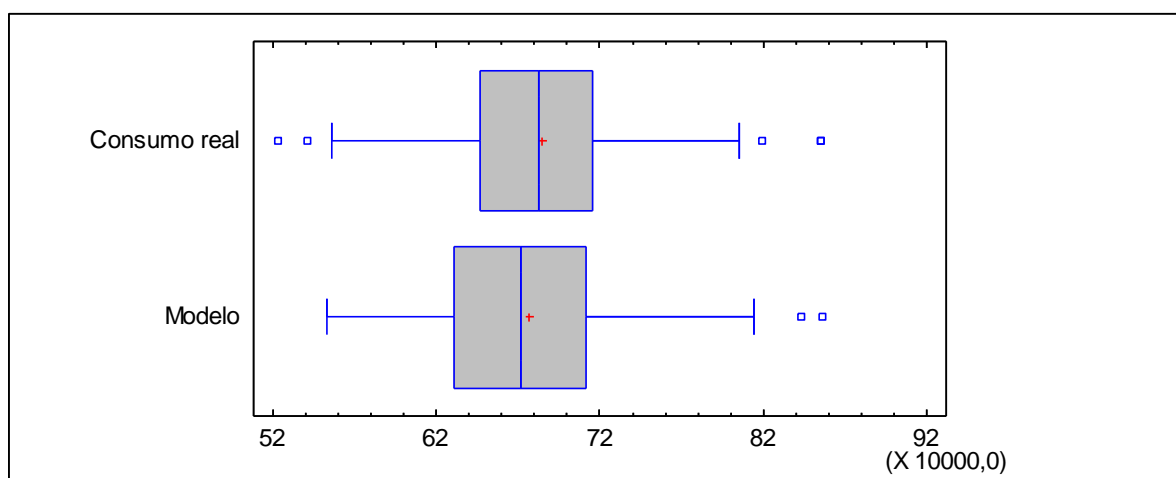


Figura 3. Gráfico de caja de bigotes del consumo real y del modelo matemático.

Como conclusión del análisis se demuestra que los datos obtenidos con el modelo pueden servir para expresar el comportamiento del consumo real con más de un 90 % de confianza y por lo tanto este puede utilizarse para estimar en consumo de energía según el nivel de producción de baterías.

### 3.2. Aplicaciones del modelo mensual.

El modelo obtenido permite el desarrollo de herramientas para el control y planificación del consumo eléctrico en la empresa, estas se describen a continuación:

#### 3.2.1. *Planificación del consumo de energía.*

El modelo obtenido representado en la ecuación 1 permite planificar el consumo de energía mensual a partir del pronóstico de la producción. “HERRAMIENTAS” elaborada en el software Microsoft Excel, se puede realizar este proceso de forma automática.

#### 3.2.2. *Determinación del potencial de ahorro a partir de la línea meta.*

La determinación del potencial de ahorro de la empresa a través de medidas de gestión, de operación y la adopción de buenas prácticas, se puede realizar a través de la interpolación de un modelo de consumo eléctrico vs. producción, considerando exclusivamente los puntos de operación ubicados por debajo de la línea base, o sea los de mayor eficiencia energética, de esta manera, se obtiene una **línea meta de eficiencia energética** alcanzable sin realizar inversiones ni cambios de tecnología, la diferencia entre la (Enp) de la línea base y de la línea meta, representa el potencial de ahorro de la empresa.

### 3.2.3. Determinación del potencial de deterioro de la eficiencia energética.

El potencial de deterioro de la eficiencia energética permite establecer cuanto pudiera ser el sobreconsumo de energía en las condiciones actuales de operación, si no se realizan acciones para la gestión de la energía. Su determinación se realiza de manera inversa a la determinación del potencial de ahorro, interpolando solamente con los puntos que se encuentran por encima de la línea base, o sea, los de peor eficiencia energética. La diferencia entre la (Enp) de la línea de deterioro y la línea base, sería el sobreconsumo potencial.

En la figura 4 se muestra la línea base, la línea meta y la línea de deterioro.

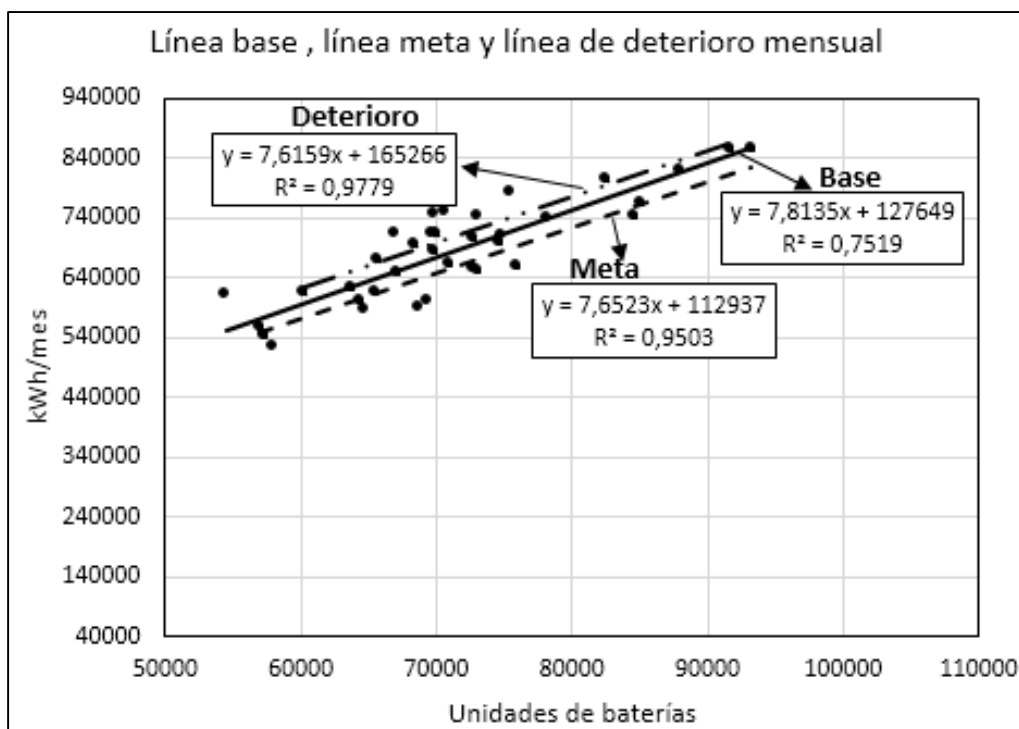


Figura 4. Línea base, meta y de deterioro.

La (Enp) es el término independiente de cada ecuación. Para la línea base (Enp = 127 649 kWh), para la línea meta (Enp = 112 937) y para la línea de deterioro (Enp = 165 266). Del análisis del gráfico se obtiene que el potencial de ahorro mensual sin realizar inversiones es de:

127 649 kWh – 112 937 kWh = 14 712 kWh, esto equivale aproximadamente a \$ 2 060 000 pesos colombianos mensual.

También se obtiene el sobreconsumo energético posible:

165 266 kWh - 127 649 kWh = 37 617 kWh equivaliendo aproximadamente a 5 266 380 pesos colombianos mensual.

#### 3.2.4. Indicador de desempeño energético.

El indicador de desempeño energético (IDEn) que se propone, tiene como fin realizar un seguimiento, monitoreo y control del desempeño energético de la empresa. El índice de desempeño de la empresa se obtiene sustituyendo la ecuación de la línea base (1) en (2).

$$\text{IDEn} = \frac{\text{Consumo}}{\text{Unidad de baterías}} \quad (2)$$

El uso de esta herramienta consiste en expresar gráficamente el comportamiento del IDEn vs. las baterías producidas mensualmente. Si los valores del mes analizado se encuentran por debajo de la curva, la empresa presenta un buen comportamiento energético, si se encuentra por encima, es necesario analizar las causas y tomar las medidas correctivas necesarias. En el gráfico se presenta además, el indicador correspondiente a la línea meta y la línea de deterioro. Con el implemento de acciones de ahorro de energía en la empresa, el comportamiento energético de la empresa debe de alcanzar el indicador de línea meta, por otro lado, la empresa debe de evitar que el indicador de desempeño alcance la línea de deterioro.

En la hoja de cálculo “HERRAMIENTAS” elaborada en el software Microsoft Excel se puede realizar el proceso descrito de manera automática. En la figura 5 se muestra un ejemplo de aplicación con los datos reales de la empresa presentados en la tabla 9.

Tabla 9. Datos de los puntos evaluados en el índice de desempeño mensual de la empresa.

| Mes             | Unidad de baterías | Consumo (kWh) | IDEn |
|-----------------|--------------------|---------------|------|
| <b>Ene-2015</b> | 90533              | 818602,80     | 9,04 |
| <b>Feb-2013</b> | 69759              | 682715,64     | 9,79 |
| <b>Mar-2014</b> | 78190,00           | 738945,28     | 9,45 |
| <b>Abr-2014</b> | 74706,00           | 698372,88     | 9,35 |
| <b>May-2014</b> | 72719,00           | 708082,10     | 9,74 |
| <b>Jun-2011</b> | 54007              | 523344,96     | 9,69 |
| <b>Jul-2013</b> | 70905              | 661887,96     | 9,33 |
| <b>Ago-2014</b> | 85136,00           | 764600,88     | 8,98 |
| <b>Sep-2012</b> | 70905              | 661887,96     | 9,33 |
| <b>Oct-2011</b> | 71254              | 681070        | 9,34 |

|                 |          |           |      |
|-----------------|----------|-----------|------|
| <b>Nov-2014</b> | 93205,00 | 855143,28 | 9,17 |
| <b>Dic-2014</b> | 87895,00 | 818602,80 | 9,31 |

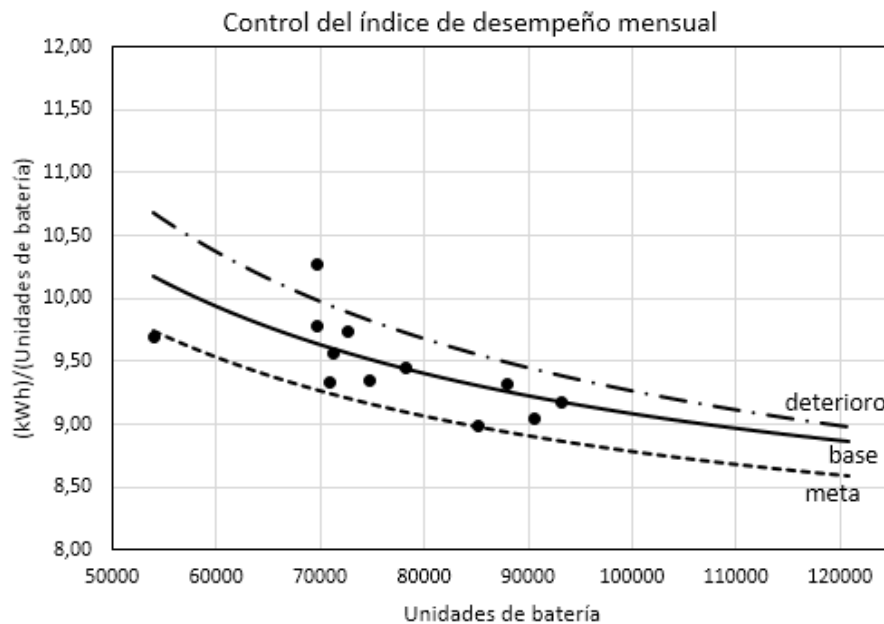


Figura 5. Ejemplo de la aplicación del control del índice de desempeño mensual.

Si bien el control mensual es una herramienta importante en la Gestión Eficiente de la Energía tiene el inconveniente de que la detección del sobreconsumo se retarda así como la toma de acciones para corregirlo, por lo que la implementación de un sistema de control diario sencillo de operar permitirá una mayor inmediatez de las acciones correctivas ante los sobreconsumos.

### 3.3. Línea base energética diaria e indicador de desempeño energético (IDEn).

Para realizar el control diario, se obtuvo la línea base energética diaria con los datos obtenidos de la operación controlada en el mes de junio de 2015. En la figura 6 se muestra la línea de base energética. Esta se obtuvo con los datos de la tabla 10, filtrando los datos que estuvieran fuera del patrón de la mayoría, tal como se hizo con la línea de base mensual.

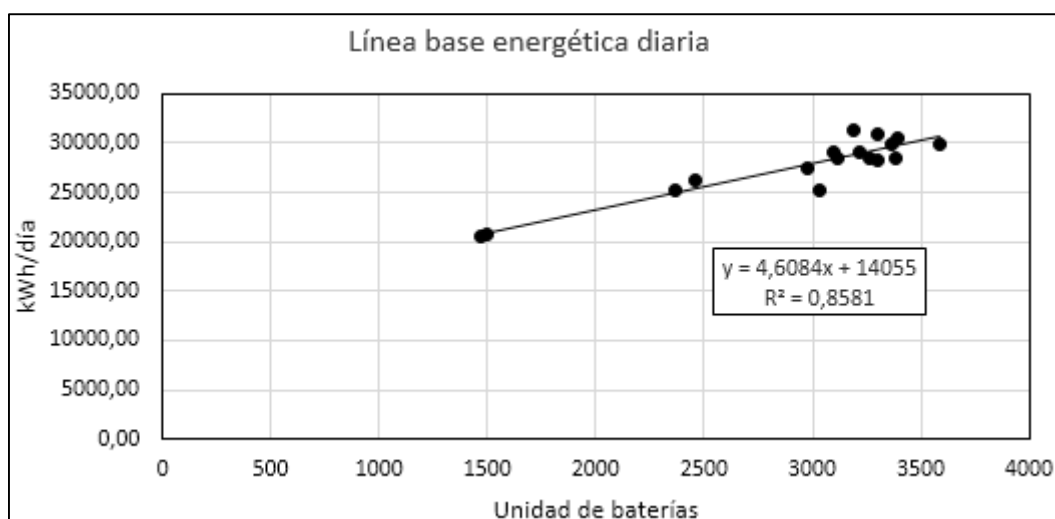


Figura 6. Línea base energética diaria.

Tabla 10. Datos de producción de baterías y consumo de energía diaria en el mes de junio de 2015.

| Día | Producción (Baterías) | Consumo (kWh/día) |
|-----|-----------------------|-------------------|
| 1   | 1471                  | 20631,96          |
| 2   | 1497                  | 20706,72          |
| 3   | 2365                  | 25228,56          |
| 4   | 3301                  | 30841,92          |
| 5   | 3395                  | 30483,24          |
| 6   | 3214                  | 29136,96          |
| 7   | 3128                  | 23309,76          |
| 8   | 3181                  | 27095,16          |
| 9   | 2756                  | 29457,84          |
| 10  | 3831                  | 28980,84          |
| 11  | 3364                  | 29783,28          |
| 12  | 3052                  | 28028,52          |
| 13  | 3499                  | 28261,32          |
| 14  | 2458                  | 26292,24          |
| 15  | 3389                  | 27536,28          |
| 16  | 3193                  | 31276,56          |
| 17  | 3119                  | 28385,40          |
| 18  | 3023                  | 30645,36          |
| 19  | 3010                  | 29210,64          |
| 20  | 3484                  | 28069,68          |
| 21  | 3096                  | 26528,40          |
| 22  | 3327                  | 27302,28          |
| 23  | 2973                  | 27405,96          |
| 24  | 3383                  | 28531,80          |
| 25  | 3588                  | 29783,04          |

|    |      |          |
|----|------|----------|
| 26 | 3300 | 28159,68 |
| 27 | 3036 | 25261,56 |
| 28 | 3361 | 25474,08 |
| 29 | 3264 | 28486,80 |
| 30 | 3095 | 29039,52 |

### 3.4. Aplicación del modelo diario.

La línea base obtenida para la producción tiene varias aplicaciones que se explican a continuación:

#### 3.4.1. *Planificación del consumo de energía.*

Con la ecuación (3) correspondiente a la línea base energética diaria, se puede planificar el consumo diario a partir del pronóstico de producción diaria.

$$\text{Consumo eléctrico (kWh/día)} = 4,6084 \cdot \text{Baterías producidas} + 14055 \quad (3)$$

En la tabla 11 se muestra un ejemplo de planificación diaria empleando la hoja de cálculo “HERRAMIENTAS”.

Tabla 11. Planificación del consumo de energía.

| <b>Día</b> | <b>PRODUCCIÓN PLANIFICADA</b> | <b>CONSUMO PLANIFICADO (kWh/día)</b> |
|------------|-------------------------------|--------------------------------------|
| <b>1</b>   | 3214                          | 28866,40                             |
| <b>2</b>   | 3128                          | 28470,08                             |
| <b>3</b>   | 3831                          | 31709,78                             |
| <b>4</b>   | 3364                          | 29557,66                             |
| <b>5</b>   | 3499                          | 30179,79                             |
| <b>6</b>   | 2458                          | 25382,45                             |
| <b>7</b>   | 3193                          | 28769,62                             |
| <b>8</b>   | 3119                          | 28428,60                             |
| <b>9</b>   | 3010                          | 27926,28                             |
| <b>10</b>  | 3327                          | 29387,15                             |

#### 3.4.2. *Determinación del potencial de ahorro a partir de la línea meta.*

El potencial de ahorro diario de la empresa se puede determinar a partir de la línea meta.

#### 3.4.3. *Determinación del sobreconsumo potencial a partir de la línea de deterioro.*

El peor escenario que puede alcanzar la empresa por un control operacional deficiente se puede determinar con la línea de deterioro.

En la figura 7 se muestra la línea base, la línea meta y la línea de deterioro diario.



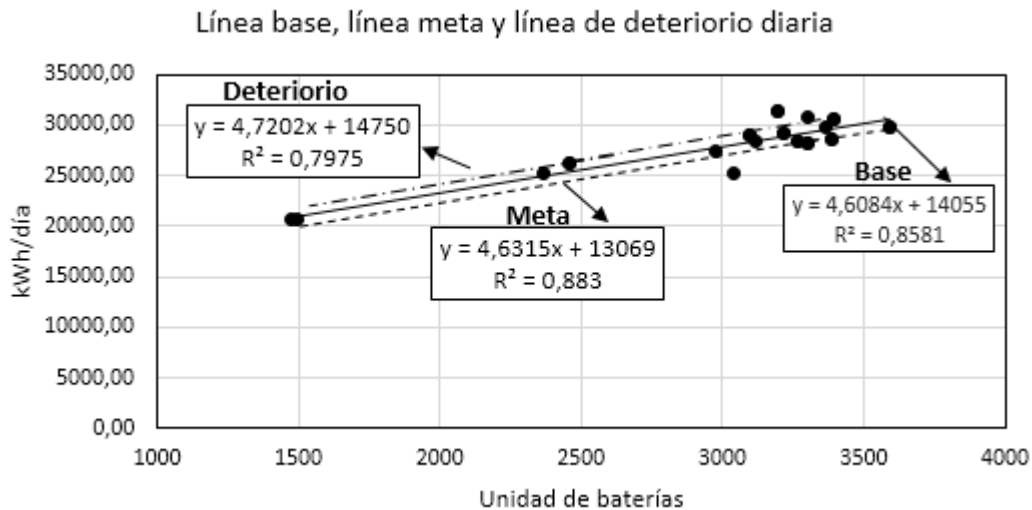


Figura 7. Línea base, meta y de deterioro diario.

De la línea meta se obtiene que el potencial de ahorro diario es de:

14055 kWh - 13069 kWh = 986 kWh, esto equivale aproximadamente a \$ 138 040 pesos colombianos diariamente.

De la línea de deterioro se estima que con una mala gestión de la energía, el consumo puede aumentar en:

14750 kWh - 14055 kWh = 695 kWh, lo que equivale a \$ 97 300 pesos colombianos diariamente.

#### 3.4.4. Indicador de desempeño energético.

En la figura 8 se muestra el indicador de desempeño energético propuesto para realizar un seguimiento, monitoreo y control diario del uso de la energía. Se presenta además, el indicador correspondiente a la línea meta y la línea de deterioro. En la hoja de calculo “HERRAMIENTAS” se encuentra preparada esta herramienta para su aplicación. En la figura, los puntos pertenecen a datos reales de la empresa en el período analizado.

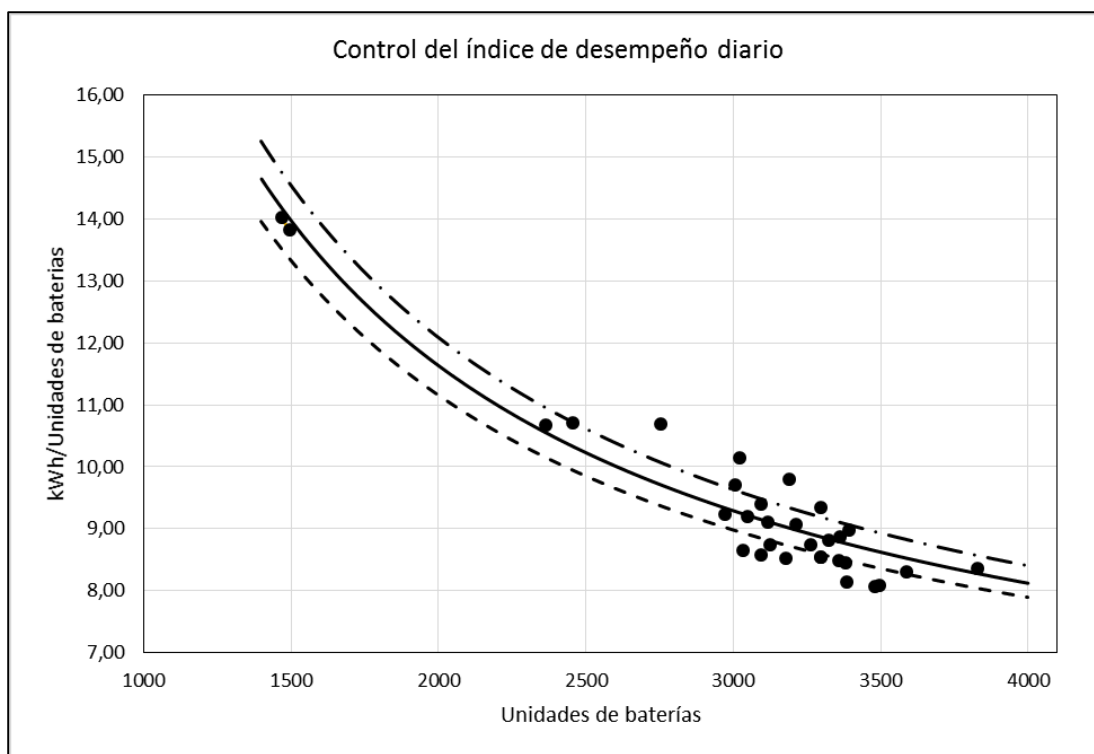


Figura 8. Ejemplo de la aplicación del control del índice de desempeño diario.

### 3.5. Análisis de la aplicación de las baterías equivalentes producidas.

El uso de la batería equivalente como variable de producción, se basa en que cada tipo de batería, necesita diferentes consumos de energía durante su producción. Teniendo en cuenta este elemento, se toma como base al tipo de batería de menor consumo y a la producción de los otros tipos de baterías, se les multiplica por un factor  $k_b$ . Este factor consiste en dividir el consumo de energía de cada tipo de batería sobre el consumo de la batería base.

$$\text{Producción equivalente} = k_b \cdot \text{Producción} \quad (4)$$

$$k_b = \frac{C_{bb}}{C_b} \quad (5)$$

donde  $C_{bb}$ : consumo de la batería base (kWh) y  $C_b$  consumo de las baterías en (kWh)

En la tabla 12 se presentan algunos tipos de baterías que se producen en la empresa, los consumos de energía necesario para su producción y los respectivos coeficientes  $k_b$ .

Tabla 12. Consumo de energía durante la producción de las baterías con el respectivo factor  $k_b$ .

| Tipo de batería | kWh  | $k_b$ |
|-----------------|------|-------|
| 22NFI-400 Esbic | 3,74 | 1,11  |
| NS40 PD         | 4,02 | 1,19  |
| 22NFS-560       | 4,02 | 1,19  |

|              |      |      |
|--------------|------|------|
| NS40-560 PD  | 4,02 | 1,19 |
| NS60-400     | 3,54 | 1,05 |
| NS60-440     | 3,53 | 1,05 |
| NS60-510     | 4,20 | 1,24 |
| 24A-550      | 4,71 | 1,40 |
| 24AS-600     | 5,14 | 1,53 |
| 24AS-800     | 6,45 | 1,91 |
| 24AS-850     | 6,57 | 1,95 |
| 24 Marina    | 8,36 | 2,48 |
| 24A CCA      | 7,78 | 2,31 |
| 42-500 Esbic | 3,37 | 1,00 |
| 24B 440      | 3,37 | 1,00 |
| 24B-500      | 3,95 | 1,17 |

En la figura 9 se muestra la línea base energética diaria obtenida para el mismo período que el representado en la figura 6. La diferencia en este caso es que se utiliza la batería equivalente como variable de producción. En la tabla 13 se presentan los datos utilizados.

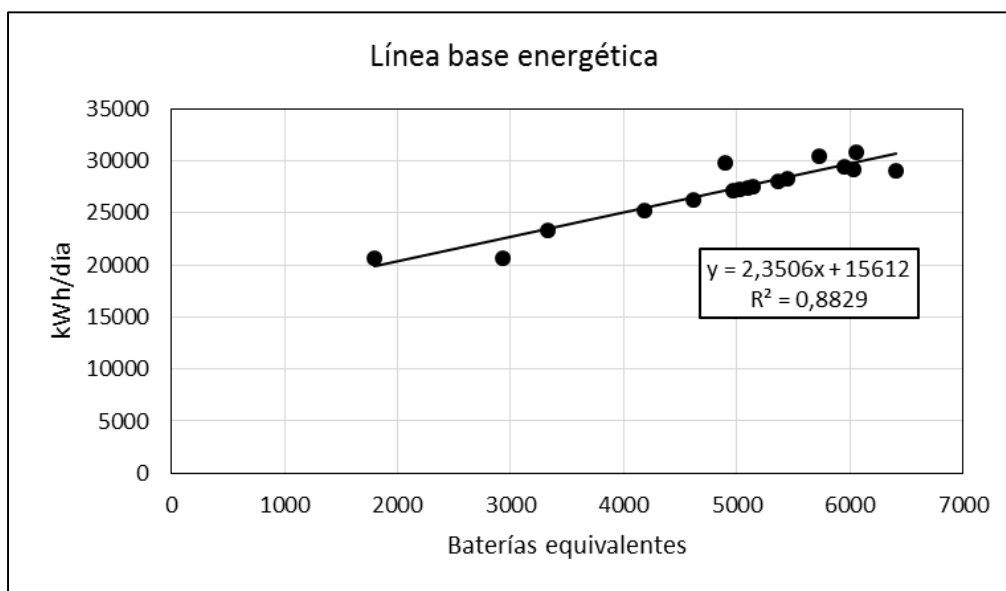


Figura 9. Línea base energética diaria empleando baterías equivalentes.

Tabla 13. Datos de producción de baterías, batería equivalente y consumo de energía diaria en el mes de junio de 2015.

| Día | Producción (Baterías) | Producción (Baterías equivalentes) | Consumo (kWh/día) |
|-----|-----------------------|------------------------------------|-------------------|
| 1   | 1471                  | 1798,12                            | 20631,96          |
| 2   | 1497                  | 2931,8                             | 20706,72          |
| 3   | 2365                  | 4178,80                            | 25228,56          |
| 4   | 3301                  | 6061,65                            | 30841,92          |
| 5   | 3395                  | 5730,9                             | 30483,24          |

|    |      |         |          |
|----|------|---------|----------|
| 6  | 3214 | 6035,13 | 29136,96 |
| 7  | 3128 | 3332,01 | 23309,76 |
| 8  | 3181 | 4963,37 | 27095,16 |
| 9  | 2756 | 5955,11 | 29457,84 |
| 10 | 3831 | 6413,69 | 28980,84 |
| 11 | 3364 | 4894,57 | 29783,28 |
| 12 | 3052 | 5363,68 | 28028,52 |
| 13 | 3499 | 5442,78 | 28261,32 |
| 14 | 2458 | 4615,59 | 26292,24 |
| 15 | 3389 | 5144,15 | 27536,28 |
| 16 | 3193 | 6720,30 | 31276,56 |
| 17 | 3119 | 5513,60 | 28385,40 |
| 18 | 3023 | 6457,61 | 30645,36 |
| 19 | 3010 | 5873,88 | 29210,64 |
| 20 | 3484 | 5388,20 | 28069,68 |
| 21 | 3096 | 4732,12 | 26528,40 |
| 22 | 3327 | 5031,54 | 27302,28 |
| 23 | 2973 | 5101,67 | 27405,96 |

En la figura 9 se observa que usando la batería equivalente como variable de producción, se obtiene una mejor correlación que la línea base de la figura 6. Sin embargo, teniendo en cuenta que la mejora no es muy significativa y que el manejo de los surtidos fabricados diariamente complejiza el sistema, se sugiere emplear en la evaluación del índice de desempeño, a la variable de producción de baterías.

#### 4. Análisis del consumo del área administrativa.

El análisis del consumo del área administrativa se realizó midiendo dicha área con un analizador de redes durante tres días, del 16 al 19 de junio. En la tabla 14 se muestran las especificaciones del analizador de redes empleado y en la figura 10 se observa una foto del instrumento conectado a la pizarra de distribución.

Tabla 14. Especificaciones del analizador de redes Dranetz Power Visa.

| <b>Magnitud</b>                    | <b>Rango de medida</b>     | <b>Precisión</b>                |
|------------------------------------|----------------------------|---------------------------------|
| Tensión (rms)                      | 1 V a 600 V fase a neutro  | $\pm 0,1$ % del voltaje nominal |
| Corriente (rms)                    | 0,1 A a 3000 A             | $\pm 0,1$ %                     |
| Frecuencia                         | 45,000 Hz a 65,000 Hz      | $\pm 0,01$ Hz                   |
| Factor de potencia                 | 0 a 1                      | $\pm 0,1$ %                     |
| Potencia                           | Según escala de las pinzas | $\pm 1$ %                       |
| Energía                            | Según escala de las pinzas | $\pm 1$ %                       |
| Distorsión de Armónico Total (THD) | 0,0 % a 100 %              | $\pm 2,5$ %                     |



Figura 10. Analizador conectado a la pizarra del área administrativa.

#### 4.1. Resultados de las mediciones.

En la figura 11 se muestra el registro de la potencia activa en el tiempo. Como se observa, el consumo tiene un comportamiento cíclico acorde con la jornada laboral. El aumento en el consumo inicia a las 7:00 am y se mantiene prácticamente constante en 30 kW hasta las 6:00 pm en que disminuye al finalizar la jornada laboral.

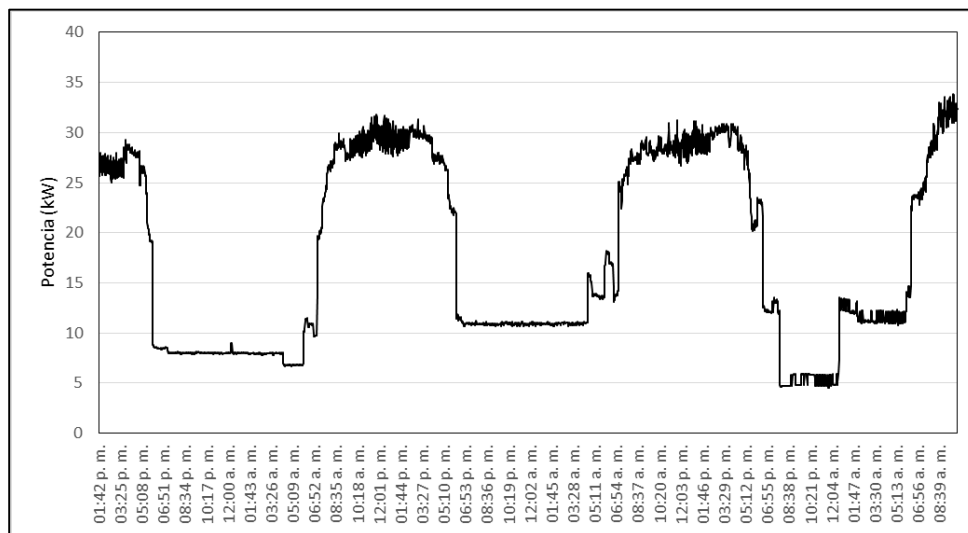


Figura 11. Comportamiento de la potencia.

Para determinar el impacto del consumo del área administrativa en el consumo total de la fábrica, se comparó el perfil de demanda de potencia del área administrativa obtenido de las mediciones, con el perfil de demanda total de la fábrica obtenido del reporte de la empresa suministradora de energía. En la figura 12 se muestran ambos perfiles para un día típico. En la tabla 15 se presenta la comparación en el consumo de energía correspondiente.

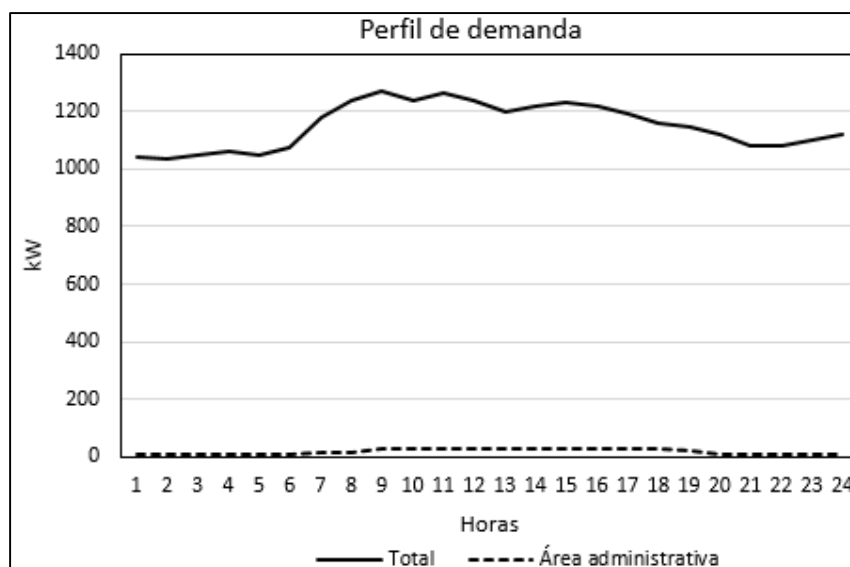


Figura 12. Perfil horario del área administrativa y de toda la empresa.

Tabla 15. Comparación en el consumo de energía.

| Consumo de energía<br>Total<br>(kWh) | Consumo de energía<br>Área administrativa<br>(kWh) | Porcentaje del consumo del<br>área administrativa<br>en relación al total<br>(%) |
|--------------------------------------|--|--|
| 27 643                               | 431,93   | 1,56   |

Como se observa, el consumo del área administrativa tiene muy poco impacto en el consumo total de la empresa, representando apenas el 1,56% del consumo de energía total. Por esta razón, no es necesario priorizar esta área para la búsqueda de oportunidades de ahorro.

## 5. Evaluación del factor de potencia.

El factor de potencia de la empresa fue evaluado a partir del procesamiento de los datos de facturación mensual, en el período comprendido entre diciembre de 2013 a mayo de 2015 y los datos de potencia activa y reactiva registrados entre enero y agosto de 2015. Como elemento de referencia para el análisis de los resultados, se tomó las resoluciones CREG-047 de 2004 y CREG-082 de 2002.

De los datos de facturación se pudo constatar que la empresa es penalizada mensualmente por tener un factor de potencia por debajo de 0,9 y un consumo de energía reactiva superior al 50% del consumo de

energía activa. En la figura 13 se muestran los costos mensuales en el período de observación, los cuales ascendieron en total a \$56 354 444 pesos colombianos, de estos, se facturaron \$ 34 101 358 pesos colombianos en el año 2014.

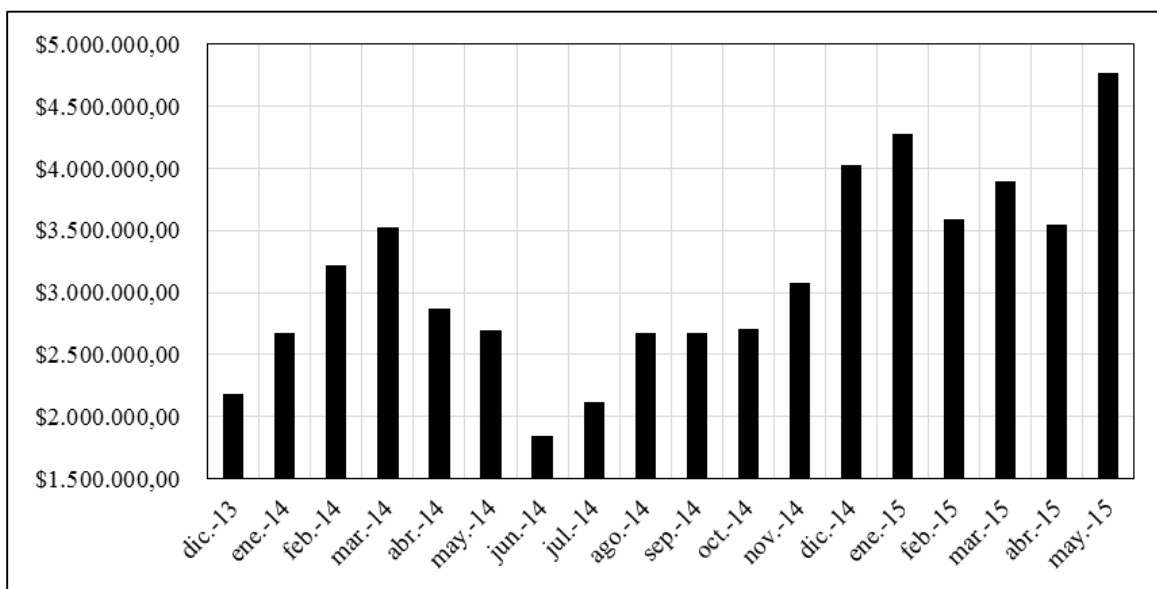


Figura 13. Costos mensuales por el consumo de energía reactiva.

En las figuras 14 y 15 se muestran el factor de potencia y la relación entre el consumo de energía reactiva y energía activa mensual y diaria respectivamente. En la figura 16 se observa el factor de potencia y la relación entre la potencia reactiva y activa horaria, obtenido como el promedio de estas magnitudes en los días registrados (enero-agosto, 2015).

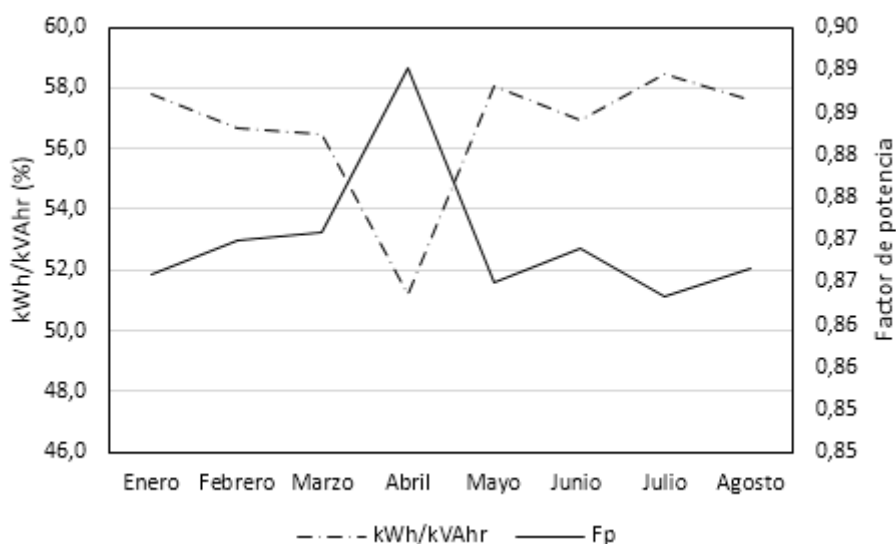


Figura 14. Comportamiento mensual del factor de potencia y la relación porcentual entre el consumo de energía reactiva y activa.

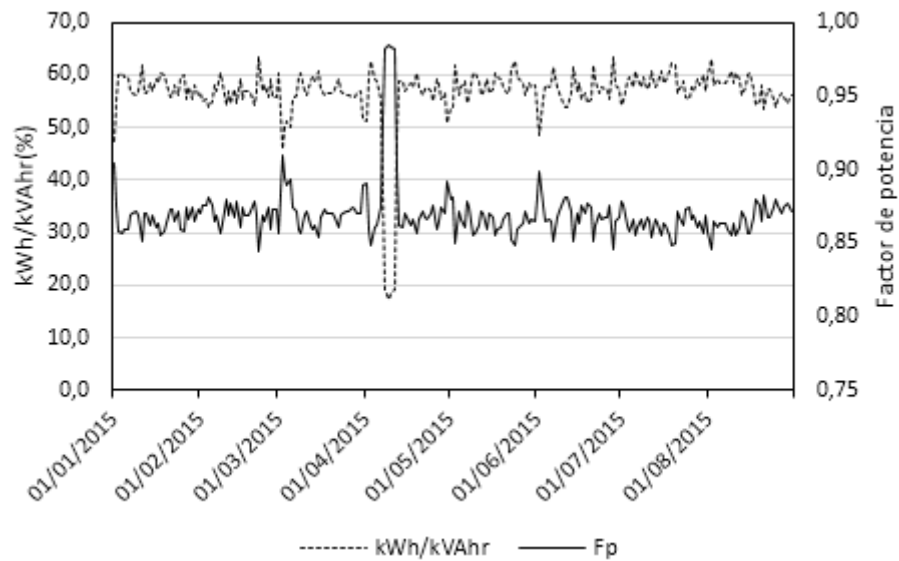


Figura 15. Comportamiento diario del factor de potencia y la relación porcentual entre el consumo de energía reactiva y activa.

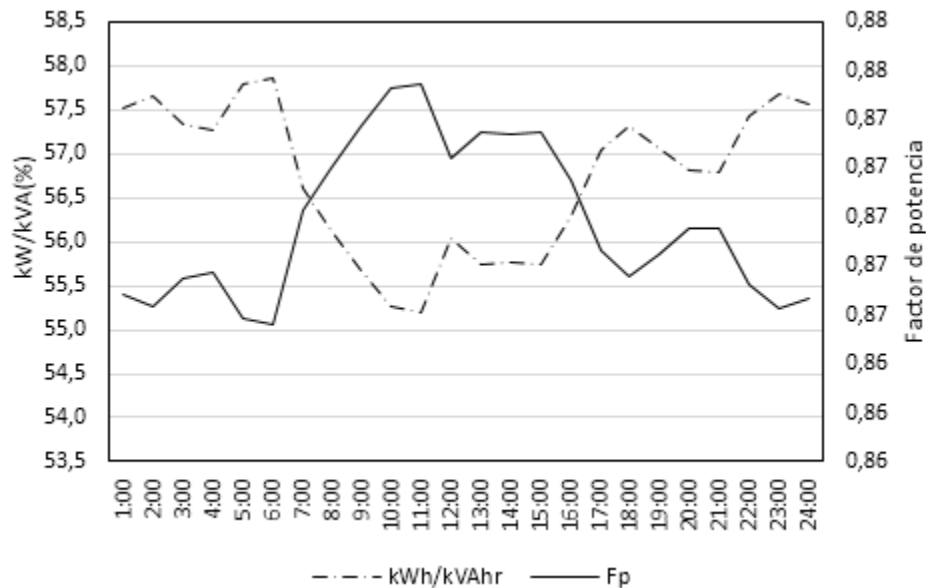


Figura 16. Comportamiento horario del factor de potencia y la relación porcentual entre la potencia reactiva y activa.

Como se observa en las tres figuras anteriores, el factor de potencia se comporta por debajo de 0,9 y la relación porcentual la energía reactiva y activa es superior al 50%, lo que confirma las causas de la penalización mensual que recibe la empresa. A continuación se describen las regulaciones que establecen dichas penalizaciones.



### **Resolución CREG-047 de 2004:**

- Parágrafo 1°. El factor de potencia inductiva (coseno phi inductivo) de las instalaciones deberá ser igual o superior a punto noventa (0.90). El operador de Red podrá exigir a aquellas instalaciones cuyo factor de potencia inductivo viole este límite, que instalen equipos apropiados para controlar y medir la energía reactiva.
- Parágrafo 2°. Para efectos de lo establecido en el parágrafo anterior, la exigencia podrá hacerse en el momento de aprobar la conexión al servicio, o como consecuencia de una revisión de la instalación del usuario.”.

### **Resolución CREG-082 de 2002:**

- Artículo 11°. En caso de que la energía reactiva consumida por un Usuario, sea mayor al cincuenta por ciento (50%) de la energía activa (kWh) que le es entregada en cada periodo horario, el exceso sobre este límite, en cada periodo, se considerará como energía activa para efectos de liquidar mensualmente el cargo por uso del respectivo sistema, de acuerdo con lo contenido en el Anexo No. 4 de esta Resolución.

El Operador de Red podrá conectar equipos de medida de energía reactiva para aquellos usuarios de Nivel de Tensión 1, no residenciales, o fronteras comerciales, a fin de establecer cobro de energía reactiva.

Debido a esta situación se hace necesario un estudio integral de selección y ubicación de condensadores en la empresa para mejorar el factor de potencia y eliminar la penalización mensual actual.

### **Bibliografía**

Alabbasi, A., Rezki, Z., Shihada, B., (2014). Energy efficient scheme for cognitive radios utilizing soft sensing. IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC),701-706.

Block, L., Larsen, A., Togeby, M. (2006). Empirical analysis of energy management in Danish Industry. Journal of Cleaner Production, 14(5), 516–526.

Bunse, K., Vodicka, M., Schönsleben, P., Brühlhart, M., Ernst, F.(2011). Integrating energy efficiency performance in production management e gap analysis between industrial needs and scientific literature. Journal of Cleaner Production. 19 (6), 667-679.

Cabello, J., Santos, V, Gutiérrez, A., Álvarez Guerra, M., Haeseldonckx, D., Vandecasteele, C. (2016). Tools to improve forecasting and control of the electricity consumption in hotels. Journal of Cleaner Production. 137(20), 803-812.

Chen, H., Wei, Y., Luo, Y., Duan, S. (1996). Study and application of several-step tank formation of lead/acid battery plates. Journal of power sources. 59(1), 59-62.

- Chowdhury, A. (2015). How Soft Sensing Using Simulation Enhances Plant Process Management. Resource document. Cognizant 20-20 Insights. <https://www.cognizant.com/whitepapers/how-soft-sensing-using-simulation-enhances-plant-process-management-codex1186.pdf> . August 2016.
- Cope, R. C., Podrazhansky, Y. (1999). The art of battery charging. Battery Conference on Applications and Advances,. The Fourteenth Annual. Long Beach, CA, USA, 233-235.
- Virosa, I. C., de Rozas, M. L. F. S., Gonzáles, L. S., Eras, J. J. C., & Pérez, L. F. (2016). Gestión comparada del riesgo en el control de la contaminación atmosférica de Generadores de Vapor; Comparative Management of risk in the atmospheric contamination control of Steam Boiler. *Ingeniería Energética*, 37(3), 195-206.
- Dahodwalla, H., Herat, S. (2000). Cleaner production options for lead-acid battery manufacturing industry. *Journal of Cleaner Production*. 8(2), 133-142.
- Fawkes, S., Oung, K., Thorpe, D. (2016). Best Practices and Case Studies for Industrial Energy Efficiency Improvement. An Introduction for Policy Makers. Source of document. Copenhagen Centre on Energy Efficiency and United Nations Environment Programme (UNEP). Copenhagen. [http://www.unepdtu.org/media/Sites/energyefficiencycentre/Publications/C2E2%20Publications/Best-Practises-for-industrialal-EE\\_web.ashx?la=da](http://www.unepdtu.org/media/Sites/energyefficiencycentre/Publications/C2E2%20Publications/Best-Practises-for-industrialal-EE_web.ashx?la=da). August 2016 .
- Friedman, J., Hastie, T., Tibshirani, R.(2001). The elements of statistical learning (Vol. 1). Springer, Berlin: Springer series in statistics. Fortuna, L., Graziani, S., Xibilia, M.G. (2005). Soft sensors for product quality monitoring in debutanizer distillation columns. *Control Engineering Practice*. 13(4), 499-508.
- Giacone, E., Mancò, S. (2012). Energy efficiency measurement in industrial processes. *Energy* 38(1), 331-345
- Goldberg, A., Reinaud, J., Taylor, R. (2011). Promotion Systems and Incentives for Adoption of Energy Management Systems in Industry. Source of document. Institute for Industrial Productivity, Washington, DC, United States. <http://www.iipnetwork.org/IIP-6.%20PromotionSystemsEnMSChina1.pdf>. September 2016.
- Goytisol Espinosa, R. A., Noa Águila, J. G., Arzola de la Peña, N., Castellanos González, L., Hernández Herrera, H., López Torres, L., & Fernández Cañizares, A. (2005). Evaluación de la fractura por fatiga del cigüeñal de un motor Diesel. *Ingeniería Mecánica*, 8(2).
- Hernández Herrera, H., Espinosa, R. G., Rodríguez, J. M., & Jackson, I. M. (2004). Nuevas expresiones para el cálculo a torsión de costuras soldadas de filete de configuración compleja.//New expressions for torsion shear stress calculation in welding fillets. *Ingeniería Mecánica*, 7(3), 7-14.
- Hernández Herrera, H., Goytisol Espinosa, R., Moya Rodríguez, J., & Jackson, I. M. (2005). Perfeccionamiento de los esquemas de análisis y del cálculo de las tensiones en las uniones soldadas a solape con costuras de filete longitudinal y transversal. *Ingeniería Mecánica*, 8(1), 79-86.
- Schluchter, M.D. (2014). Mean Square Error. Wiley StatsRef: Statistics Reference Online. DOI: 10.1002/9781118445112.stat05906.
- ISO. 2011. 50001. (2011).Energy management systems--Requirements with guidance for use. International Organization for Standardization.
- ISO. 2012. 50004. (2012). Energy management systems — Guidance for the implementation, maintenance and improvement of an energy management system. International Organization for Standardization.

- ISO. 2014. 50006. (2014). Energy management systems. Measuring energy performance using energy baselines (EnB) and energy performance indicators (EnPI). General principles and guidance. International Organization for Standardization.
- IEC 60095-1. (2000). Lead-acid starter batteries—part 1: General requirements and methods of test.
- Järvisalo, M., Ahonen, T., Ahola, J., Kosonen, A., Niemelä, M. (2016). Soft-sensor-based flow rate and specific energy estimation of industrial variable-speed-driven twin rotary screw compressor. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. 63(5), 3282-3289.
- Kadlec, P., Gabrys, B., Strandt, S. (2009). Data-driven soft sensors in the process industry. *Computers & Chemical Engineering*. 33(4), 795-814.
- Kalos, A., Kordon, A., Smits, G., Werkmeister, S. (2003). Hybrid model development methodology for industrial soft sensors. In *American Control Conference, 2003. Proceedings of the 2003* (Vol. 6, pp. 5417-5422). IEEE. Denver, United States.
- Kiessling, R. (1992) . Lead acid battery formation techniques. Source of document. Digatron Firing Circuits. [http://www.digatron.com/fileadmin/pdf/lead\\_acid.pdf](http://www.digatron.com/fileadmin/pdf/lead_acid.pdf) . August 2011.
- Li, Z., Luan, X., Liu, T., Jin, B., Zhang, Y. (2014). Room Cooling Load Calculation Based on Soft Sensing. In *International Conference on Life System Modeling and Simulation and International Conference on Intelligent Computing for Sustainable Energy and Environment*. (331-341). Springer Berlin Heidelberg. Berlin, Germany.
- Lin, B., Recke, B., Knudsen, J.K., Jørgensen, S.B. (2007). A systematic approach for soft sensor development. *Computers & chemical engineering*. 31(5), 419-425.
- Liu, J. (2016). Developing a soft sensor with online variable reselection for unobserved multi-mode operations. *Journal of Process Control*. 42, 90-103.
- Lu, B., Durocher, D., Stemper, D. (2008). Online and nonintrusive continuous motor energy and condition monitoring in process industries. *Pulp and Paper Industry Technical Conference, 2008. PPIC 2008*. Source of document. *Conference Record of 2008 54th Annual*. . [http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=4585821](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=4585821). August 2016.
- McAvoy, T., 1992. Contemplative stance for chemical process control. *Automatic*. 28(2), 441–442.
- Miloloža, I. (2013). Tendencies of development of global battery market with emphasis on republic of Croatia. *Interdisciplinary Description of Complex Systems*. 11(3), 318-333.
- Moreno, R. J., & Alemán, J. R. (2015). Control de móvil robótico mediante interfaz cerebro computador. *INGE CUC*, 11(2), 74-83.
- Pavlov, D. (2011). Lead-acid batteries: Science and technology. A handbook of lead-acid battery technology and its Influence on the product (1st Ed). Amsterdam. Elsevier.
- Pavlov, D., Petkova, G., Dimitrov, M., Shiomi, M., Tsubota, M. (2000) . Influence of fast charge on the life cycle of positive lead–acid battery plates. *Journal of power sources*. 87(1), 39-56.
- Petkova, G., Pavlov, D. (2003). Influence of charge mode on the capacity and cycle life of lead–acid battery negative plates. *Journal of power sources*. 113(2), 355-362.
- Ploennigs, J., Ahmed, A., Hensel, B., Stack, P., Menzel, K. (2011). Virtual sensors for estimation of energy consumption and thermal comfort in buildings with underfloor heating. *Advanced Engineering Informatics*. 25(4), 688-698.

- Ponce, M., Moreno, E. (2015). Alternative definitions of energy for power meters in non-sinusoidal systems. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*. 64, 1206-1213.
- Poscha, A., Brudermann, T., Braschela, N., Gabriel, M. (2015). Strategic energy management in energy-intensive enterprises: a quantitative analysis of relevant factors in the Austrian paper and pulp industry. *Journal of Cleaner Production*. 90, 291–299.
- Prout, L. (1993). Aspects of lead/acid battery technology 4. Plate formation. *Journal of power sources*. 41(1), 195-219.
- Santos, V. S., Felipe, P. R. V., Sarduy, J. R. G., Quispe, E. C., & Balbis, M. (2016). Shaft Power Estimation in Induction Motor Operating Under Unbalanced and Harmonics Voltages. *IEEE Latin America Transactions*, 14(5), 2309-2315.
- Rydh, C.J., Sandén, B.A. (2005). Energy analysis of batteries in photovoltaic systems. Part I: Performance and energy requirements. *Energy Conversion and Management*. 46(11), 1957-1979.
- Rudberg, M., Waldemarsson, M., Lidestam, H. (2013). Strategic perspectives on energy management: A case study in the process industry. *Applied Energy*. 104, 487–496.
- Samper, M. A. G., Guiliany, J. G., & Eras, J. C. (2017). Eficiencia en el uso de los recursos y producción más limpia (recp) para la competitividad del sector hotelero. *Revista de Gestão Social e Ambiental*, 11(2).
- Sullivan, J. L., Gaines, L. (2012) . Status of life cycle inventories for batteries. *Energy Conversion and Management*. 58, 134-148.
- Sousa, V., Viego, P. R., Gómez, J. R., Quispe, E. C., & Balbis, M. (2015, October). Estimating induction motor efficiency under no-controlled conditions in the presences of unbalanced and harmonics voltages. In *Electrical, Electronics Engineering, Information and Communication Technologies (CHILECON), 2015 CHILEAN Conference on* (pp. 567-572). IEEE.
- Thanayankizil, L. V., Ghai, S. K., Chakraborty, D., Seetharam, D.P. (2012). Softgreen: Towards energy management of green office buildings with soft sensors. Sorce of document. Fourth International Conference on Communication Systems and Networks (COMSNETS 2012). IEEE. Bangalore, India. <https://pdfs.semanticscholar.org/3665/f7955f5cab8d65bc1d11be81a6b1969d9bfa.pdf> . July 2016.
- Thi Minh, N. (2009). Lead acid batteries in extreme conditions: accelerated charge, maintaining the charge with imposed low current, polarity inversions introducing non-conventional charge methods. Doctoral dissertation. Source of document. Université Montpellier II-Sciences et Techniques du Languedoc. France. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00443615/document> . September 2016.
- Ulloa, M. J. C., Eras, J. J. C., Rodriguez, J. M., Gutierrez, A. S., & Herrera, H. H. (2016). MATHEMATICAL MODELING OF VERTICAL MOVEMENT OF THE UPPER SHAFT IN CANE MILLS. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 88(2), 331.
- Vesma, V. (2009). *Energy Management Principles and Practice*. Sorce of document. British Standards Institution. <http://group.skanska.com/globalassets/sustainability/environmental-responsibility/energy/energy-management-bip2187.pdf>. August 2016.
- Warne, K., Prasad, G., Rezvani, S., Maguire, L. (2004). Statistical and computational intelligence techniques for inferential model development: a comparative evaluation and a novel proposition for fusion. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. 17(8), 871-885.
- Weinert, N., Chiotellis, S., Seliger, G. (2011). Methodology for planning and operating energy-efficient production systems. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*. 60(1), 41–44.

Wong, Y.S., Hurley, W.G. Wölfe, W.H. (2008). Charge regimes for valve-regulated lead-acid batteries: Performance overview inclusive of temperature compensation. *Journal of Power Sources*. 183(2), 783-791.

Worrell, E., 2011. Barriers to energy efficiency: International case studies on successful barrier removal. Development Policy, statistics and research branch. Source of document. United Nations Industrial Development Organization, 1-19. . <http://dspace.library.uu.nl/handle/1874/250419> August 2016.